

**Device for producing radial polarisation and microlithographic projection illumination arrangement using the same****Publication number:** EP0764858 (A2)**Publication date:** 1997-03-26**Inventor(s):** SCHUSTER KARL-HEINZ [DE]**Applicant(s):** ZEISS CARL [DE]; ZEISS STIFTUNG [DE]**Classification:****- International:** G02B5/30; G02B19/00; G02B27/28; G03F7/20; H01L21/027;  
G02B5/30; G02B19/00; G02B27/28; G03F7/20; H01L21/02;  
(IPC1-7): G02B5/30; G03F7/20**- European:** G02B5/30R; G02B27/28B; G03F7/20T12**Application number:** EP19960113892 19960830**Priority number(s):** DE19951035392 19950923**Also published as:**

EP0764858 (A3)

EP0764858 (B1)

DE19535392 (A1)

JP9184918 (A)

**Cited documents:**

DE3523641 (C1)

EP0419257 (A2)

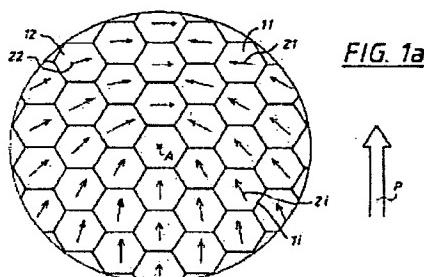
XP000393432 (A)

JP1143216 (A)

JP7307268 (A)

**Abstract of EP 0764858 (A2)**

The arrangement converts an input light beam into an output beam of light which is linearly polarised in the radial direction essentially over its entire cross-section. The polarisation direction (P) of the input light beam is rotated and is not selected. The arrangement contains a raster, segment or faceted device with more than 4 half-wave plates (4i) whose preferred direction (2i) is aligned so that each half-wave plate deflects the polarisation direction of the linearly polarised light passing through it along a radius (3i) intersecting the half-wave plate on the optical axis.

**FIG. 1a**

Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide



(19) Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11) EP 0 764 858 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

26.03.1997 Patentblatt 1997/13

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: G02B 5/30, G03F 7/20

(21) Anmeldenummer: 96113892.2

(22) Anmelddatum: 30.08.1996

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
DE GB NL

• CARM ZEISS-STIFTUNG HANDELND ALS CARM  
ZEISS

D-89518 Heidenheim (Brenz) (DE)

Benannte Vertragsstaaten:  
GB

(30) Priorität: 23.09.1995 DE 19535392

(71) Anmelder:

• Carl Zeiss  
D-89518 Heidenheim (Brenz) (DE)  
Benannte Vertragsstaaten:  
DE NL

(72) Erfinder: Schuster, Karl-Heinz  
89551 Königsbronn (DE)

(54) Radial polarisierendrehende optische Anordnung und Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage damit

(57) Optische Anordnung, welche ein eintretendes Lichtbündel in ein austretendes Lichtbündel mit im gesamten Querschnitt im wesentlichen in radialer Richtung linear polarisiertem Licht durch Drehen, nicht durch Selektion, umformt. Dazu werden Raster aus Halbwellenplatten (41,42,4i), eine Kombination aus unter radialer Druckspannung stehender Spannungs-doppelbrechungs-Viertelwellenplatte (420) und einer

zirkular doppelbrechenden um 45° drehenden Platte (430) vorgeschlagen, auch in Verbindung mit einem Kegelpolarisator (21'). In einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage wird diese Anordnung vorzugsweise im Beleuchtungsteil angeordnet. Wichtig ist die Anordnung hinter allen asymmetrischen oder polarisierenden Bauelementen (103a).

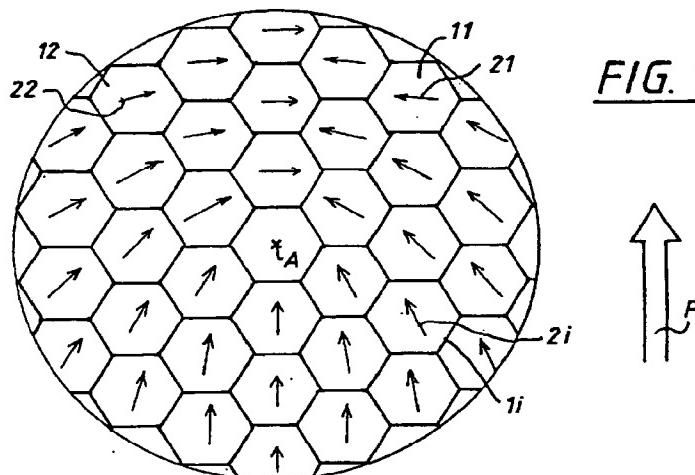


FIG. 1a

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine optische Anordnung welche ein eintretendes Lichtbündel in ein austretendes Lichtbündel mit im gesamten Querschnitt im wesentlichen in radialer Richtung linear polarisiertem Licht umformt.

Zur Erzielung höchster Auflösungen in der Mikrolithographie ist es notwendig, Projektionsbelichtungsanlagen mit sehr hoher numerischer Apertur vorzusehen. Bei der Einkopplung des Lichts in die Resistsschicht, die dann unter sehr hohen Winkeln erfolgt, kommt es zu Lichtverlusten durch Reflexion an der äußeren Resist-Grenzschicht und zu Verschlechterungen der Auflösung durch seitliches Auswandern des Lichts bedingt durch Reflexionen an den beiden Grenzschichten des Resists zum Wafer und zur Luft (Bildung von stehenden Wellen).

Der Fresnel'sche Reflexionsgrad ist dabei vom Winkel zwischen der Polarisationsrichtung und der Reflexionsebene abhängig. Für unter dem Brewster-Winkel einfallendes Licht mit parallel zur Einfallsebene schwingendem elektrischem Feld verschwindet die Reflexion, hierfür ergibt sich also optimale Einkopplung in den Resist, gleichzeitig maximale Unterdrückung der stehenden Wellen.

Bei insgesamt in einer Richtung linear polarisiertem Licht ergeben sich jedoch Störungen, wie in EP 0 602 923 A1 und EP 0 608 572 A2 beschrieben. Beide Schriften erzeugen daher vor der Einkopplung in den Resist gezielt zirkular polarisiertes Licht als Äquivalent zu unpolarisiertem Licht. Damit wird Homogenität über das ganze Bild erreicht, jedoch ein Wirkungsgradverlust hingenommen, da der jeweils lokal senkrecht polarisierte Lichtanteil stark reflektiert wird.

In EP 0 602 923 wird alternativ vorgeschlagen, das insgesamt in einer Richtung linear polarisierte Licht in Bezug auf die Orientierung eines abzubildenden Musters zu orientieren, wie auch schon aus DE-OS 15 72 195 bekannt. Die Unterwanderung durch Mehrfachreflexion erfolgt dann in Längsrichtung der Strukturen, nicht in Richtung der kritischen Auflösung. Der Wirkungsgrad der Einkopplung bzw. die Reflexion an der Resistoberfläche ist aber dabei nicht homogen.

Die Auswirkung der Polarisation auf die Reflexion an Resistsschichten und die Bedeutung der Fresnel'schen Koeffizienten ist in US 4,899,055 für ein Verfahren zur Dickenmessung dünner Filme beschrieben.

Aus US 5,365,371 ist eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie bekannt, bei der eine radial gerichtete Linearpolarisation des Lichts eingeführt wird, um Störungen bei der Bilderzeugung im Resist durch stehende Wellen im Resist zu unterbinden. Es werden zwei verschiedene polarisierende Elemente angegeben: Zunächst ein aus einem Positiv- und einem Negativkegel zusammengesetzter Radialpolarisationsfilter, der in Transmission benutzt wird und aufgrund der Fresnel'schen Gleichungen für die Reflexion radiale Polarisation bewirkt. Es ist nicht angegeben, wie

5 eine vollständige Polarisation des transmittierten Lichts erzielt werden kann. In der Beschreibung und in Anspruch 3 wird zudem gefordert, daß beide Teile verschiedenen Brechungsindex aufweisen. Der transmittierte Teil muß aber dann gebrochen werden und kann nicht geradlinig passieren. In dem zugehörigen CIP-Patent US 5,436,761, das bis auf den Anspruch identisch ist, wird im Anspruch jedoch keine Bedingung für die Brechungsindizes angegeben. Weiter wird z.B. in Anspruch 4 eine Platte mit Segmenten aus radial orientierten Polarisationsfilterfolien angegeben, wie sie auch schon aus US 4,286,843 (Fig. 19 und Beschreibung Spalte 9, Zeilen 60-68) bekannt ist.

10 Beide Polarisatoren sind Polarisationsfilter, das heißt sie führen zu hohem Lichtverlust und sind nur für einen unpolarisierten oder zirkular polarisierten an kommenden Lichtstrahl geeignet, da sonst über den Querschnitt des austretenden Lichtbündels starke Inhomogenität der Intensität auftritt. Beim Beispiel der Fig. 1 bedingt der Umlenkspiegel (17) eine teilweise Polarisation, und deshalb ist das aus dem Polarisator (21) austretende Lichtbündel inhomogen. Auch wird in US 5,365,371 ausschließlich angegeben und beansprucht, daß der Radialpolarisator in der Pupillenebene des Projektionsobjektives liegt. Eine Lage des Radialpolarisators im Objektiv ist problematisch, da dort engste Toleranzen für eine optimale Bildqualität eingehalten werden müssen.

15 Aufgabe der Erfindung ist es, optische Anordnungen anzugeben, mit denen eine verlust- und streulichtarme homogene Einkopplung in optische Grenzflächen mit hoher Apertur möglich ist, wobei der Wirkungsgrad und die Homogenität des austretenden Lichtbündels optimiert sind.

20 Projektionsbelichtungsanlagen sollen angegeben werden, die bei minimaler Störung der Abbildung bzw. minimalem Bauaufwand maximale Nutzung der Vorteile der radialen Linearpolarisation erlauben.

25 Gelöst wird diese Aufgabe durch eine radial polarisationsdrehende optische Anordnung nach Anspruch 1, die dadurch gekennzeichnet ist, daß die Polarisationsrichtungen des eintretenden Lichtbündels gedreht und nicht selektiert werden.

30 Vorteilhafte Ausführungsformen, die verschiedene Arten der Erzeugung der gewünschten Polarisationsverteilung angeben, sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 5. Anspruch 6 ist besonders bevorzugt, da bei Ringaperturbeleuchtung der Lichteinfall unter geringen Winkeln, bei denen die Reflexivität nur geringe Polarisationsabhängigkeit zeigt, unterdrückt ist.

35 Ganz bedeutend ist Anspruch 7, der die Integration einer radial polarisierenden optischen Anordnung in einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage betrifft.

40 Bei diesen Anlagen, wo die Möglichkeiten der Optik voll ausgenützt werden, wird eine Verbesserung der Homogenität und des Wirkungsgrads der Lichteinkopplung in die Resistsschicht erreicht, da die Reflexion am Resist, aber auch an allen nach dem polarisierenden

Element angeordneten Linsen, gleichmäßig reduziert wird. Für das unter großen Winkeln (bis zum Brewster-Winkel) einfallende Licht ist der Effekt am stärksten, gerade da wo die Lichtintensität (Randabfall) am geringsten ist. Die Störungen der Auflösung durch Streulicht, auch an der Resist-Wafer-Grenzschicht, sind homogenisiert und verringert.

Eine Anordnung möglichst früh im Strahlengang ist vorteilhaft, da so die Störungen durch Spannungsdoppelbrechung an allen nachfolgenden Linsen minimiert und symmetrisiert werden.

Es ist daher auch für Polarisationsfilter, neben den bevorzugten polarisationsdrehenden Elementen, besonders vorteilhaft, wenn diese bereits im Beleuchtungssystem angeordnet werden.

Anspruch 8 gibt die Anordnung der polarisations-drehenden Elemente nach den Ansprüchen 1 bis 6 an beliebiger Stelle in einem Projektionsbelichtungssystem an, die sich gegenüber dem bekannten Stand der Technik durch bessere Homogenität und viel höheren Wirkungsgrad auszeichnet.

Die bevorzugten Ausführungen nach den Unteransprüchen 9 und 10 tragen dem Rechnung, daß mit der erfundungsgemäßen radialen Polarisationsrichtung an jeder Linse des Systems eine Reduzierung und Homogenisierung - wenn auch bei geringen Aufftreffwinkel in geringem Maße - des Streulichts eintritt, die genutzt werden kann.

Andererseits ändern asymmetrische optische Elemente, insbesondere Umlenkspiegel wie sie zur Verkürzung der Baulänge oder in katadioptrischen Projektionsobjektiven vorgesehen werden, den Polarisationszustand und können daher nur dann nachgeschaltet sein, wenn eine reflektierende Schicht mit Phasenkorrektur benutzt wird. Wird als umlenkendes Element ein totalreflektierendes Prisma eingesetzt, so muß eine genau angepaßte Phasenverzögerungsplatte nachgeschaltet werden, oder die totalreflektierende Grenzfläche muß mit einer phasenkorrigierenden Schicht belegt werden. Störend sind natürlich auch polarisierende optische Bauelemente, zum Beispiel Polarisationsstrahlteiler und Viertelwellenplatten.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen beschreiben die Ansprüche 11 und 12.

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnung, deren schematische Figuren das folgende zeigen:

- Fig. 1a eine Aufsicht auf eine radial polarisationsdrehende optische Anordnung aus einem Raster von Halbwellenplatten, für linear polarisiertes einfallendes Licht;

Fig. 1b die Polarisationsrichtungen des aus Fig. 1a austretenden Lichtbündels;

Fig. 2 im Querschnitt eine radial polarisierende optische Anordnung mit Kegelstumpfreflektor mit Brewsterwinkel, für zirkular polarisiertes einfallendes Licht;

siertes oder unpolarisiertes einfallendes Licht (Stand der Technik);

- 5 Fig. 3a eine Anordnung mit Kegelstumpfreflektor und segmentartigen Halbwellenplatten zur vollen Nutzung von zirkularpolarisiertem oder unpolarisiertem Licht, im Querschnitt;

10 Fig. 3b dasselbe in Ansicht von der Lichtaustrittsseite her;

15 Fig. 4a eine radial polarisationsdrehende optische Anordnung mit einer Platte mit zentrale symmetrischer Spannungs doppelbrechung in Seitenansicht.

20 Fig. 4b die zugehörige Viertelwellenplatte in Ansicht,

25 Fig. 4c die zugehörige Druckspannungsplatte in Ansicht,

Fig. 4d die zugehörige zirkular doppelbrechende 45°-Platte in Ansicht;

25 Fig. 5 eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit radial polarisierender optischer Anordnung im Beleuchtungsteil;

30 Fig. 6 ein katadioptisches Projektionsobjektiv mit darin integrierter erfundungsgemäßer radial polarisierender optischer Anordnung;

35 Eine erfundungsgemäße polarisationsdrehende Anordnung, wie sie besonders in Verbindung mit einem Wabenkondensor vorteilhaft ist, geeignet für die Umwandlung von linear polarisiertem Licht, also besonders für Laser als Lichtquelle, ist in Fig. 1a in Aufsicht dargestellt. Der Lichtbündelquerschnitt ist in eine Vielzahl von Facetten (11, 12, 1i) aufgeteilt, die jeweils aus einer Halbwellenplatte aus doppelbrechendem Material bestehen. Jede Facette (1i) entspricht einem Waben-element des Wabenkondensors. Die Facetten (1i) sind zweckmäßigerweise auf die Wabenelemente aufgekit-tet, angesprengt, oder bei extremer Strahlenbelastung separat gefaßt und entspiegelt. Die bei Mikrolithogra-phiie-Projektionsbelichtungsanlagen üblichen Waben-kondensoren haben um  $10^2$  Wabenelemente, und die Zahl der Facetten ist gleich.

40 50 Die Hauptachsen (21, 22, 2i) der Facetten (11, 1i) sind jeweils in Richtung der Winkelhalbierenden zwischen der Polarisationsrichtung des eintretenden insge-samt gleich linear polarisierten Lichts und dem jeweiligen zur optischen Achse (A) des Lichtbündels und des Wabenkondensors gerichteten Radius durch die Mitte jeder Facette (1i) ausgerichtet. Damit bewirkt jede Halbwellenplatten-Facetten (1i) die Drehung der Polarisationsrichtung in die Richtung des genannten Radius. Fig. 1b zeigt diesen Effekt, hier sind die Ein-

trittsflächen (41, 42, 4i) des Wabenkondensors gezeigt mit den Polarisationsrichtungen (31, 32, 3i) der jeweiligen Teillichtbündel, die alle radial ausgerichtet sind.

Die Rasterung mit hexagonalen Facetten (1i) ist dabei nur ein Ausführungsbeispiel, das besonders für die Kombination mit einem Wabenkondensor angepaßt ist. Andere Rasterungen, insbesondere auch fächerartige Sektoreneinteilungen der Halbwellenplatten (vgl. Fig. 3b) sind sinnvoll möglich. Die Zahl der Einzelelemente kann auch im Bereich  $10^1$  liegen.

Eine Verminderung des gesamten Reflexionsgrads an einer optischen Grenzfläche gegenüber unpolarisiertem Licht ergibt sich solange, wie überall im Bündelquerschnitt der Anteil des senkrecht zur Einfallsalebene polarisierten Lichts kleiner als der Anteil des parallel polarisierten Lichts ist. Bei nur vier 90°-Sektoren mit Halbwellenplatten wird dieser Grenzfall erreicht, so daß bevorzugt mehr Halbwellenplatten im Lichtbündelquerschnitt angeordnet werden, insbesondere größerenordnungsmäßig 10 bis  $10^2$  Facetten oder Sektoren.

Im Unterschied zu bekannten Radialpolarisatoren mit Sektoren (US 5,365,371 und US 4,286,843) wird nicht mit erheblichem Verlust die Polarisation ausgetilgt, sondern das Licht wird in seiner Polarisationsrichtung durch doppelbrechende Elemente verändert bei minimalen Verlusten.

Eine stetige radiale Ausrichtung der linearen Polarisation bewirkt die in Fig. 2 dargestellten optische Anordnung für eintretendes unpolarisiertes oder zirkular polarisiertes Licht (40). Sie ist ein Polarisationsfilter und im Prinzip aus US 5,365,371 bekannt, im Detail jedoch neu.

Es handelt sich um einen hohlgebohrten Kegelstumpf (20) aus transparentem Material, z.B. Glas FK5, Quarzglas oder CaF<sub>2</sub>, mit dem Kegelwinkel  $\alpha$  entsprechend dem Brewsterwinkel und einer dielektrischen Reflexbeschichtung auf dem Kegelmantel (21). Der senkrecht zur Einfallsalebene polarisierte Teil (45) des Lichtstrahls (40) wird daher voll reflektiert, der transmittierte Strahl (4p) ist voll parallel zur Einfallsalebene polarisiert, und damit überall radial zur optischen Achse (A) hin linear polarisiert. Der hohlgebohrte Kegelstumpf (20) ist für eine Ringaperturbeleuchtung adaptiert und sorgt für kürzeste Baulänge, natürlich funktioniert auch ein Vollkegel. Der Kegelstumpf (20) ist durch einen passenden Hohlkegelstumpf (22), der an der Kegelfläche (21) anliegt, zu einem Zylinderring ergänzt, wodurch die spiegelnde Kegelfläche (21) geschützt ist und das ganze leichter zu fassen ist. Kegelstumpf (20) und Hohlkegel (22) haben den gleichen Brechungsindex, so daß der Lichtdurchtritt ohne Brechung an der Kegelfläche (21) erfolgt, im Gegensatz zu US 5,365,371.

Fig. 3a zeigt im Querschnitt eine Weiterentwicklung der Ausführung nach Fig. 2, bei der auch der reflektierte Teil (4s) genutzt wird, so daß also eine Anordnung mit weitaus weniger als 50% Lichtverlust erreicht wird, da die Polarisation effektiv gedreht und nicht gefiltert wird.

Um den Kegelstumpf (20) mit dem Kegelmantel (21) entsprechend Fig. 2 (mit anschließendem zylindri-

schem Verlängerungsteil) ist ein transparentes Teil (30) mit einer zum Kegelmantel (21) parallelen spiegelnden Kegelfläche (31) angeordnet, an dessen Austrittsfläche (33) ein Ring aus Segmenten (5i, 5k) von Halbwellenplatten angeordnet ist, deren Hauptachsen (6i, 6k) jeweils unter 45° zum Radius in Segmentmitte stehen, wie in Fig. 3b gezeigt. Damit wird, wie bei Fig. 1 beschrieben, die radiale Linearpolarisation auch des am Kegelmantel (21) reflektierten Lichts (4s) im achsparallelen Bündel (4r) bewirkt. Die bewirkte Erhöhung des Lichtleitwertes ist zumindest bei Laserlichtquellen vielfach erwünscht. Wichtig ist, daß die Anordnung für unpolarisiert einfallendes Licht geeignet ist. Durch Weglassen oder Hinzufügen von optischem Glas kann im Bedarfsfall der optische Weg von Kegelstumpf (20') und transparentem Teil (30) angepaßt werden.

Eine ebenfalls stetig radial linear polarisiertes Licht erzeugende Anordnung, hier aber für linear oder zirkular polarisiertes Licht am Eingang und mit geringer Bau-länge in Richtung der optischen Achse, zeigt das Beispiel gemäß den Figuren 4a bis 4d. Es ist besonders für Ringapertur-Optiken geeignet.

Ein Ring-Bündel von einheitlich linear polarisiertem Licht (4i) trifft wie in Fig. 6a im Schnitt dargestellt auf einen Stapel von drei Planplatten (410, 420, 430). (410) ist eine Viertelwellenplatte, die wie Fig. 4b zeigt, das durchtretende Licht zirkular polarisiert. Ist das eintretende Lichtbündel bereits zirkular polarisiert, so kann die Platte (410) entfallen. Darauf folgt eine Platte (420), z.B. aus Glas oder Quarzglas, die unter zentralsymmetrischer Druckspannung steht und daher Spannungs-doppelbrechung zeigt. Dicke, Material und Spannung sind so ausgewählt, daß die Platte (420) im vom Ring-Bündel (4i) berührten Außenbereich lokal jeweils eine Viertelwellenplatte ist, aber mit radialem Symmetrie, so daß das zirkular polarisiert eintretende Licht linear polarisiert wird, und zwar überall im Querschnitt mit der Polarisationsrichtung unter 45° zum Radius, vgl. Fig. 4c.

Im Zusammenwirken von Wärmeausdehnung und Temperaturgradienten beim Abkühlen oder bei einer Ausgleichs-Wärmebehandlung entsteht bei kreisrunden Glas-(oder Quarzglas, Berylliumfluorid, CaF<sub>2</sub> usw.) Scheiben immer eine derartige Druckspannung, die normalerweise durch möglichst langsames Abkühlen minimiert wird. Durch gezieltes Kühlen läßt sich aber in weiten Grenzen die gewünschte Druckspannung und damit die gewünschte Spannungs-doppelbrechung im Außenbereich erzeugen.

Darauf folgt noch eine dritte Platte (430), die zirkulare Doppelbrechung aufweist und die Polarisationsrichtung um 45° dreht. Damit wird, wie Fig. 4d zeigt, die radiale Polarisation des austretenden Lichts über den gesamten Querschnitt erreicht.

Diese Ausführung hat wie das Beispiel der Fig. 1 den Vorteil, besonders dünn zu sein, und wie das Beispiel der Fig. 2 den Vorteil, exakt radiale Polarisation zu ergeben ohne aufwendige Montage vieler Facetten oder Segmente. Hauptvorteil ist auch der hohe Wir-

kungsgrad, da die Polarisation gedreht, nicht selektiert wird. Wird statt des Ringbündels (41) ein vollständiges Bündel durch die Anordnung geschickt, so wird der Kernbereich einfach nicht beeinflußt.

Fig. 5 zeigt schematisch eine komplette Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einer radial polarisierenden optischen Anordnung (55), hier ein Kegelstumpfpolarisator nach Fig. 2. Außer diesem Element und seiner Anordnung sind alle Teile und ihre Anordnung branchenüblich. Eine Lichtquelle (51), z.B. eine i-Linie-Quecksilberentladungslampe mit Spiegel (52), beleuchtet eine Blende (53). Ein Objektiv (54), z.B. ein Zoom-Axicon-Objektiv nach DE 44 21 953, folgt und ermöglicht verschiedene Einstellungen, insbesondere die Wahl einer Ringapertur.

Auf den Kegelstumpfpolarisator (55), der für unpolarisiertes eintretendes Licht geeignet ist, folgt ein Wabenkondensor (56) und eine Relais- und Feldoptik (57). Diese Teile zusammen dienen der optimierten Beleuchtung des Reticle (58) - der Maske -, das durch das Projektionsobjektiv (59) verkleinert mit höchster Auflösung (unter 1 µm) auf den Resist-Film (60) des Wafers (61) abgebildet wird. Die numerische Apertur des Systems liegt bei Werten oberhalb 0,5 bis 0,9, wobei Ringaperturen zwischen 0,7 und 0,9 bevorzugt sind. Die radiale Polarisation des Lichts nach Verlassen des Kegelstumpfpolarisators (55) bewirkt, daß an allen folgenden optischen Elementen (56, 57, 58, 59) die Wirkung der Spannungsdoppelbrechung rotationssymmetrisch bezüglich der optischen Achse ist. Am größten ist der Effekt beim Eintritt in den Resistfilm (60), wo die größten Eintrittswinkel auftreten und daher optimale Transmission und minimale Reflexion erreicht werden. Der empfindliche Strahlengang im Projektionsobjektiv (59) ist ungestört.

Natürlich ist die Ausführung der polarisierenden optischen Anordnung (55) nicht auf das gezeigte Ausführungsbeispiel der Fig. 2 beschränkt, besonders alle erfindungsgemäßen polarisationsdrehenden Anordnungen stehen zur Wahl, eventuell mit vorgeschaltetem Polarisator oder doppelbrechender Platte zur Anpassung. Auch kann eine polarisationsdrehende optische Anordnung (55) an einen anderen Ort im Gesamtaufbau verlegt werden.

Das gilt besonders dann, wenn Umlenkspiegel ohne Phasenkorrektur oder polarisierende Elemente, z. B. Polarisationsstrahlteiler, vorgesehen sind. Dann ist die erfindungsgemäße polarisationsdrehende optische Anordnung dahinter (in Lichtflußrichtung) anzutragen. Ein Beispiel dafür zeigt Fig. 6 anhand eines katadioptrischen Projektionsobjektivs.

Die Fig. 6 entspricht völlig der Fig. 1 der EP 0 602 923 A1 mit polarisierendem Strahlteiler (103), Konkavspiegel (106), Linsengruppen (102, 105, 108) und Vierwellenplatte (104). Das polarisationsdrehende optische Element (107) ist hier aber nicht, wie bereits in der Einleitung beschrieben, wie bei EP 0 602 923 A1 eine Vierwellenplatte zur zirkularen Polarisierung und damit gleichmäßigen Verschlechterung der Lichtein-

kopplung in das Resist (109), und auch nicht ein Mittel zur Ausrichtung der gleichmäßigen Linearpolarisation auf eine Vorzugsrichtung des Musters auf dem Reticle (101). Vielmehr ist hier eine radial polarisationsdrehende optische Anordnung (107) vorgesehen.

Wegen des geringen zur Verfügung stehenden Raums eignen sich hier die Ausführungen nach Fig. 1 und 4 am besten. Der Vorteil ist klar: unabhängig vom Muster des Einzelfalls wird optimale Streulichtunterdrückung und gleichmäßiger Wirkungsgrad der Lichteinkopplung in das Resist (109) erreicht.

Die radial polarisierende optische Anordnung (107) ist sobald wie möglich hinter dem Umlenkspiegel (103a) angeordnet im nahezu kollimierten Strahlengang, also in einem Bereich mäßiger Winkel und Divergenzen der Lichtstrahlen. Kleine Winkel sind wichtig für ein einwandfreies Funktionieren der doppelbrechenden Elemente. Beste Wirkung wird erzielt, wenn die Austrittsebene der erfindungsgemäßen polarisationsdrehenden Elemente in einer zur Bildebene fouriertransformierten Ebene des Beleuchtungs- oder Projektionssystems liegen, oder in einer dazu aequivalenten Ebene.

Die Anwendung der erfindungsgemäßen polarisationsdrehenden optischen Anordnung, die eine radial orientierte Linearpolarisation auf dem gesamten Lichtbündelquerschnitt erzeugt, ist nicht auf die Mikrolithographie beschränkt.

## 50 Patentansprüche

1. Optische Anordnung welche ein eintretendes Lichtbündel in ein austretendes Lichtbündel mit im gesamten Querschnitt im wesentlichen in radialer Richtung linear polarisiertem Licht umformt, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarisationsrichtungen des eintretenden Lichtbündels gedreht und nicht selektiert werden.
2. Optische Anordnung nach Anspruch 1 mit einem linear polarisierten eintretenden Lichtbündel mit einer optischen Achse (A) und einer Polarisationsrichtung (P) und mit einer Raster-, Segment- oder Facetten-Anordnung von mehr als vier Halbwellenplatten, (41, 42; 4i) deren Vorzugsrichtungen (21, 22; 2i) jeweils so ausgerichtet sind, daß jede Halbwellenplatte (41, 42; 4i) die Polarisationsrichtung des durchtretenden linear polarisierten Lichts in Richtung eines die Halbwellenplatte durchschneidenden auf die optische Achse (A) gerichteten Radius (31, 32; 3i) umlenkt. (Fig. 1)
3. Optische Anordnung mit einer optischen Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Reflexionspolarisator mit einer Kegelmanntel- oder Kegelstumpfmantel-förmigen polarisierenden Fläche (21') vorgesehen ist und die Halbwellenplatten (5i) in dem Strahlengang des am Reflexionspolarisator reflektierten Lichts angeord-

net sind. (Fig. 3a,b)

4. Optische Anordnung nach Anspruch 1, bestehend aus einer unter radialer Druckspannung stehenden Spannungs-doppelbrechungs-Viertelwellenlängenplatte (420) und einer zirkular doppelbrechenden um 45° drehenden Platte (430). (Fig. 4a-d) 5
5. Optische Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine normale Viertelwellenplatte (410) vorgeschaltet ist, so daß linear polarisiertes Licht benutzt werden kann. 10
6. Optische Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch Ring-aperturbeleuchtung. 15
7. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage enthaltend eine radiale Polarisation in einem zur optischen Achse rotationssymmetrischen Lichtbündelquerschnitt in einer Ebene des Beleuchtungssystems. 20
8. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage enthaltend eine radial polarisationsdrehende optische Anordnung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6. 25
9. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 7 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß die radial polarisationsdrehende optische Anordnung (55) zwischen Lichtquelle (51) und Reticle (58) angeordnet ist. (Fig. 5) 30
10. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die radial polarisationsdrehende optische Anordnung (107) in Lichtflußrichtung hinter dem letzten polarisierenden nicht zur optischen Achse symmetrischen Bauteil, insbesondere hinter dem letzten Umlenkspiegel (103a), angeordnet ist. (Fig. 6) 35
11. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß im Beleuchtungsteil ein Wabenkondensor (56) vorgesehen ist und dieser mit einer radial polarisationsdrehenden optischen Anordnung nach Anspruch 2 verbunden ist derart, daß jeder Wabe des Wabenkondensors (56) eine Facette der optischen Anordnung zugeordnet ist. 45
12. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die radial polarisationsdrehende optische Anordnung im kollimierten Strahlengang angeordnet ist. 55

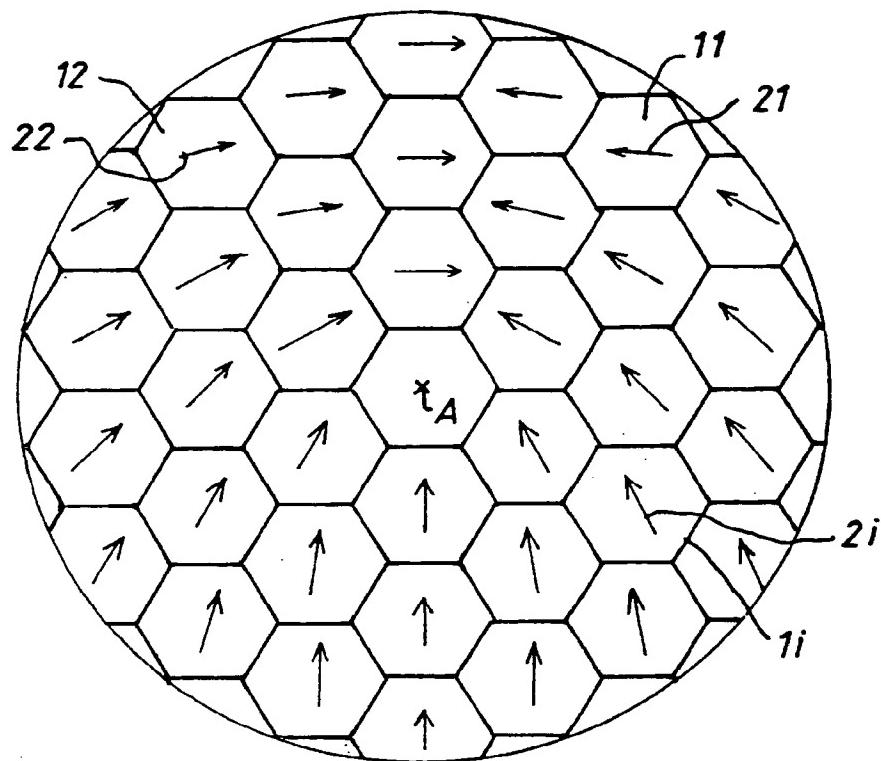


FIG. 1a

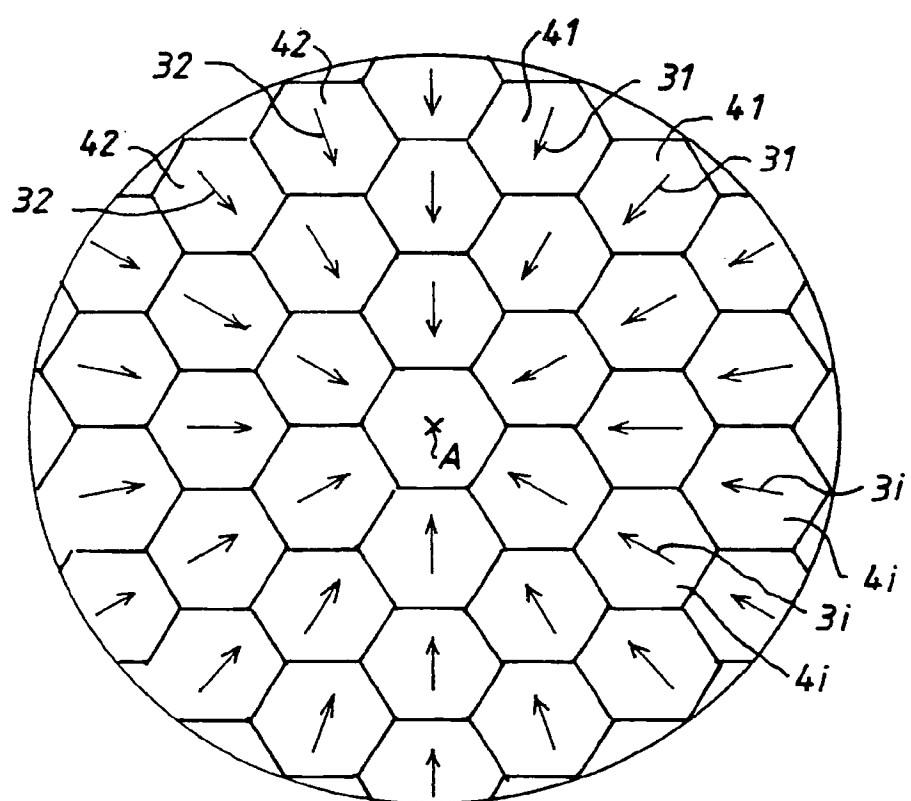
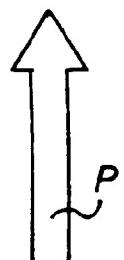


FIG. 1b

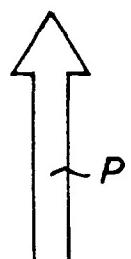


FIG. 2

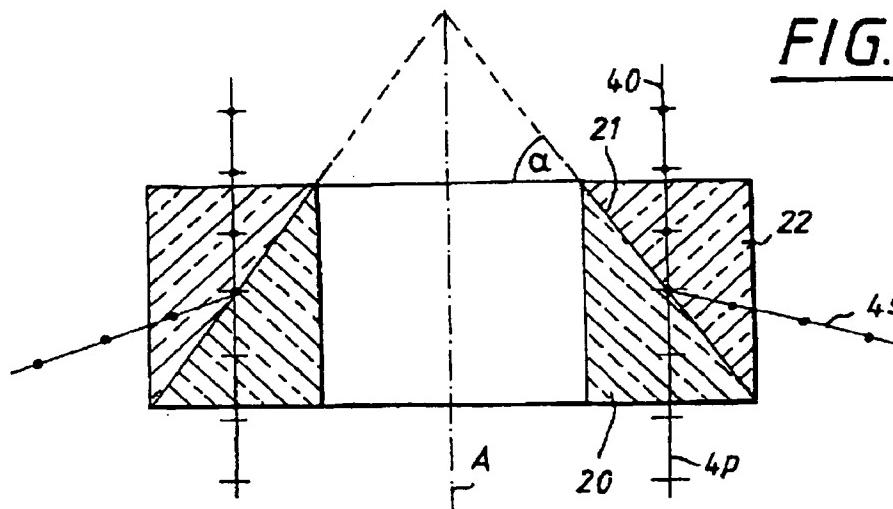
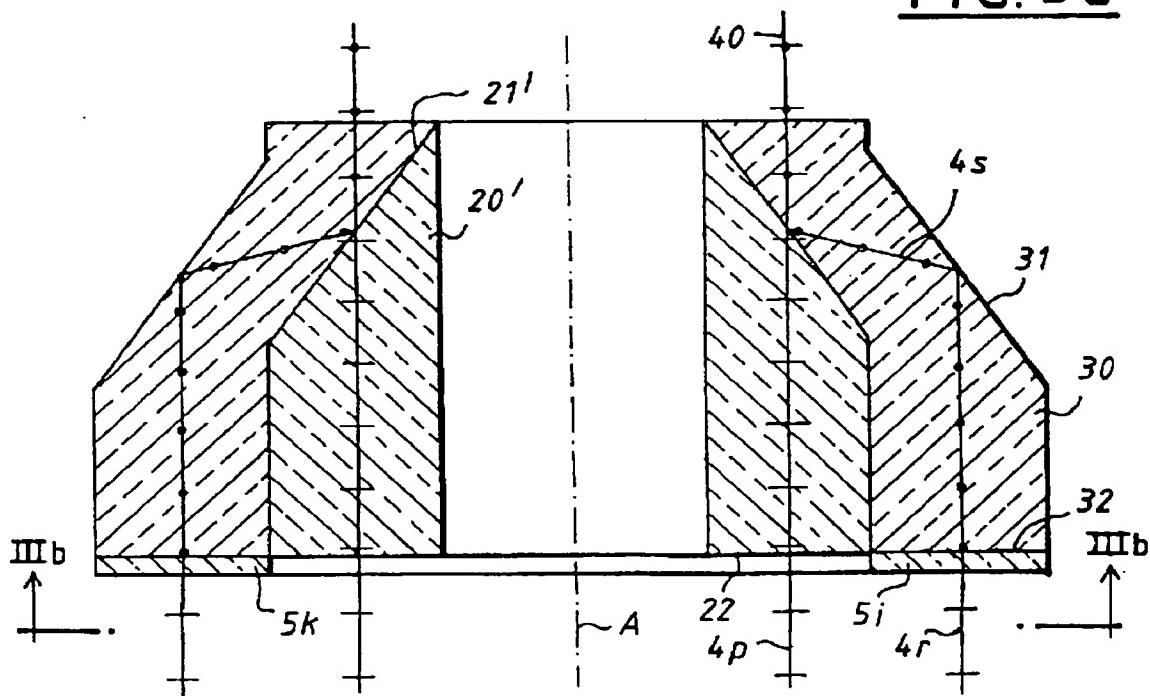
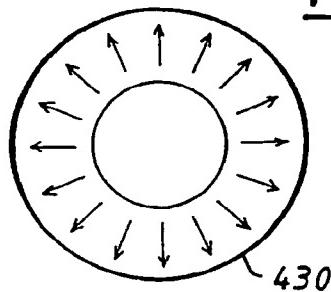
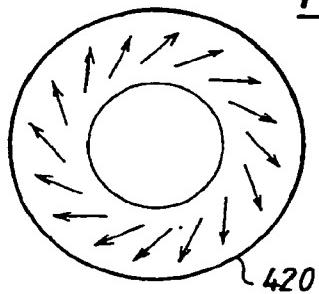
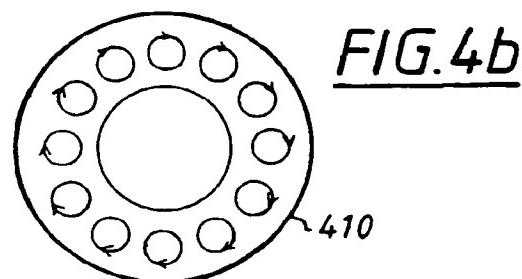
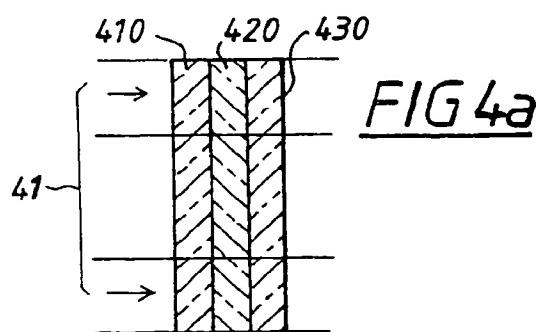
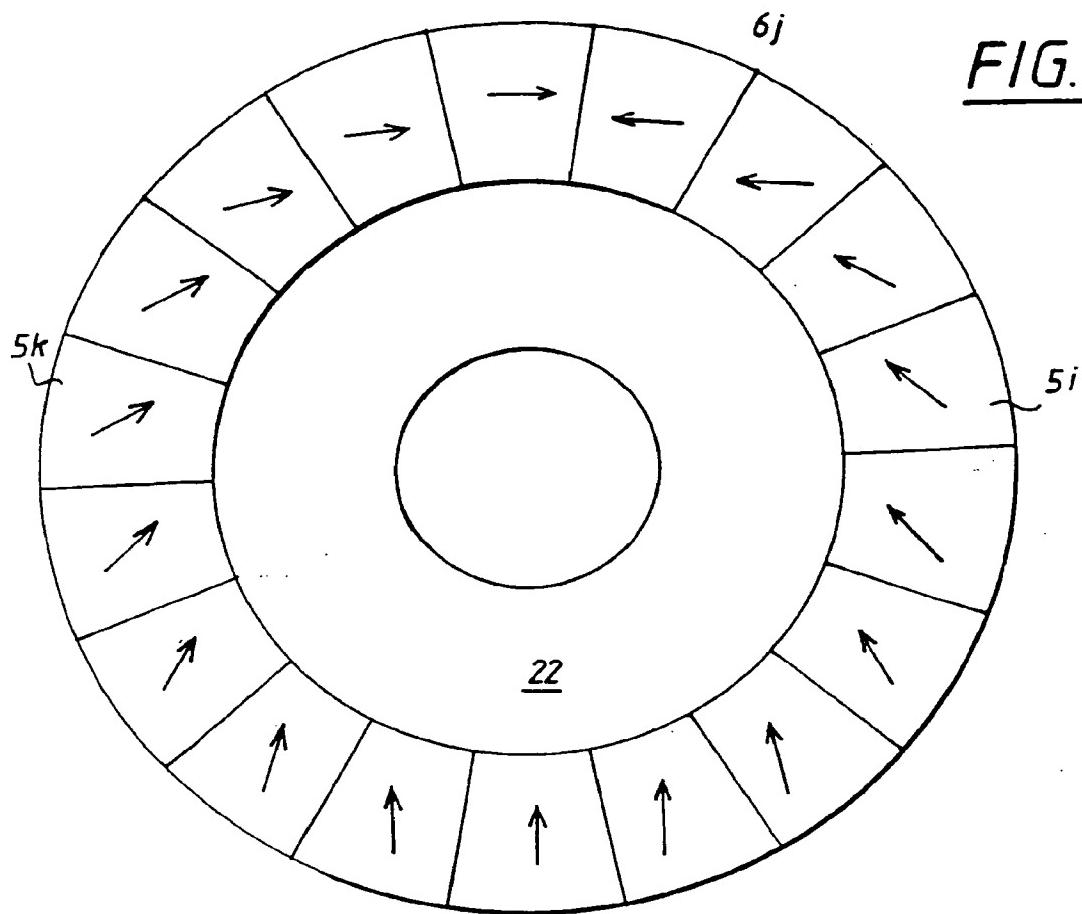


FIG. 3a





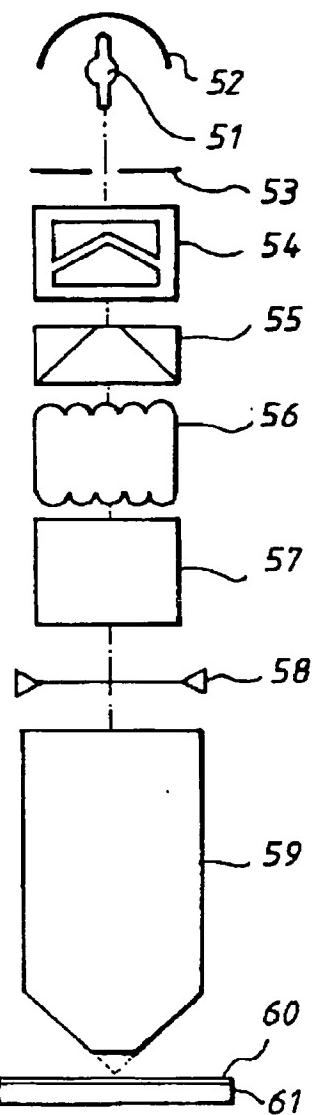


FIG. 5

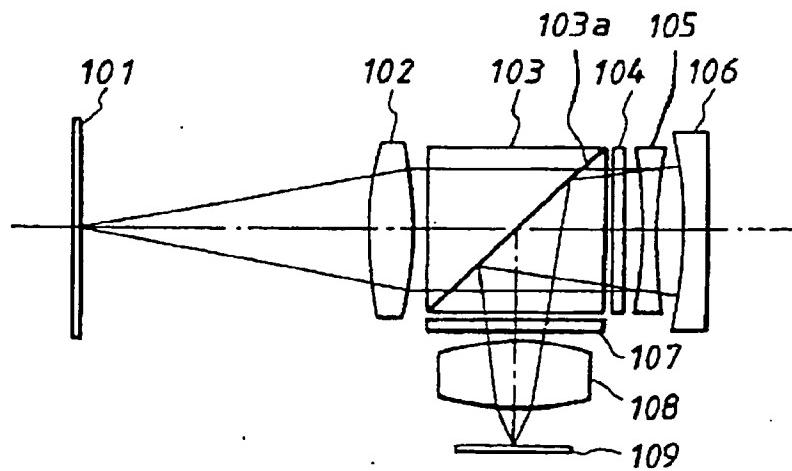


FIG. 6